我国边际土地产能扩增和生态效益提升的途径与研究进展

曹晓风[1†*]　孙　波[2†]　陈化榜[1]　周俭民[1]　宋显伟[1]　刘小京[1]　邓向东[1]　李秀军[3]　赵玉国[2]　张佳宝[2*]　李家洋[1*]

1 中国科学院种子创新研究院 遗传与发育生物学研究所 北京 100101
2 中国科学院南京土壤研究所 南京 210008
3 中国科学院东北地理与农业生态研究所 长春 130102

摘要　边际土地是指由于土壤障碍限制突出、水热资源约束强、地形条件局限大，导致农业产能和经济效益低下、生态脆弱的土地。我国耕地缺口约7亿亩，而现有11.7亿亩（7 800万公顷）边际土地是我国耕地的战略后备资源，藏粮于边际土地是国家粮食安全战略保障体系的重要一环。利用植物-土壤-微生物互作机制协同提升边际土地产能和生态功能已经成为国际研究的新趋势，包括选育适应高强度土壤胁迫的耐逆作物品种，筛选可利用的根际促生菌以提升植物耐逆适生性能，挖掘和强化微生物提升土壤质量和健康的功能。针对我国边际土地产能扩增和生态效益提升问题，需要基于生态优先与绿色发展原则制定总体行动方案；设立边际土地研发专项，以“植物先行、改土为基、水分保障、微生物调控、植物-土壤-微生物生态系统集成”为思路，建立全国边际土地资源清单，制定边际土地保护和治理区划；开展边际土地耐逆适生品种选育、水肥资源高效利用、土壤障碍因子消减与土壤生物网络诱导驯化、植物-微生物交互影响4个方面的基础理论研究；聚焦黄河滩地和滨海盐土、东北苏打盐碱土、西北内陆盐碱土、南方低山丘陵红壤、西南紫色土、西北黄绵土，构建不同边际土地类型的生态农场模式。通过建立与完善边际土地生态利用理论与技术体系，促进我国边际土地资源的保护和可持续利用，并为适时启动连片分布边际土地的改造和高效利用、实现新增7亿亩中等级耕地储备目标，保障“藏粮于地、藏粮于技”和乡村振兴战略的实施，以及推进我国生态脆弱区生态文明建设提供科技支撑。

关键词　边际土地，产能提升，生态保护，可持续利用，资源清单，土壤障碍，抗逆品种，功能微生物，生态农场模式

DOI　10.16418/j.issn.1000-3045.20201228002

资助项目：中国科学院重点部署项目（KFZD-SW-112）
†同等贡献
*通信作者
修改稿收到日期：2020年2月27日

我国人均耕地资源缺乏，2016年我国耕地总面积为20.3亿亩①，人均仅1.3亩，且每年持续减少约99万亩[1]。2020年我国进口粮食总量达14 262.1万吨，其中大豆为10 032.7万吨，相当于向国外延伸了7.76亿亩耕地的产能（按2019年我国大豆平均亩产129.3千克计算）。预测2030年我国3种主要谷物（水稻、小麦、玉米）自给率为90%，大豆为39%，油料为60%[2]。因此，保障我国未来粮食安全需要兼顾现有耕地产能提升和后备耕地资源合理开发利用。

边际土地是保障我国粮食安全的战略后备耕地资源。边际土地是指在强烈的土壤障碍因子限制、水热资源约束或地形条件局限下，农业产能和经济效益低下、生态脆弱的土地。我国的边际土地总面积约11.7亿亩，包括尚未开发的耕地后备资源（8.5亿亩）和现有低等耕地②（3.2亿亩），其限制因子包括气候条件（干旱、寒冷）、地形条件（海拔高、坡度大）、土壤条件（土层浅薄、盐分高、酸度大、有机质低、养分瘠薄）、资源条件（缺乏灌溉）等[3]。其中，盐碱土、风沙土、黄绵土、红壤、紫色土等5大类边际土壤总面积约3.376亿亩，主要分布在南方丘陵区（1.548亿亩）、黄土丘陵区（0.347亿亩）、北方沙地区（0.445亿亩），半干润区和西北干旱区（0.8576亿亩）、黄河三角洲滨海盐碱区（0.179亿亩）（图1和表1）。然而，我国现有耕地质量提升技术及现有耐逆品种不足以支撑边际土地的改良和生态利用，需要协同突破边际土地的改良工程体系与农作物育种技术体系。

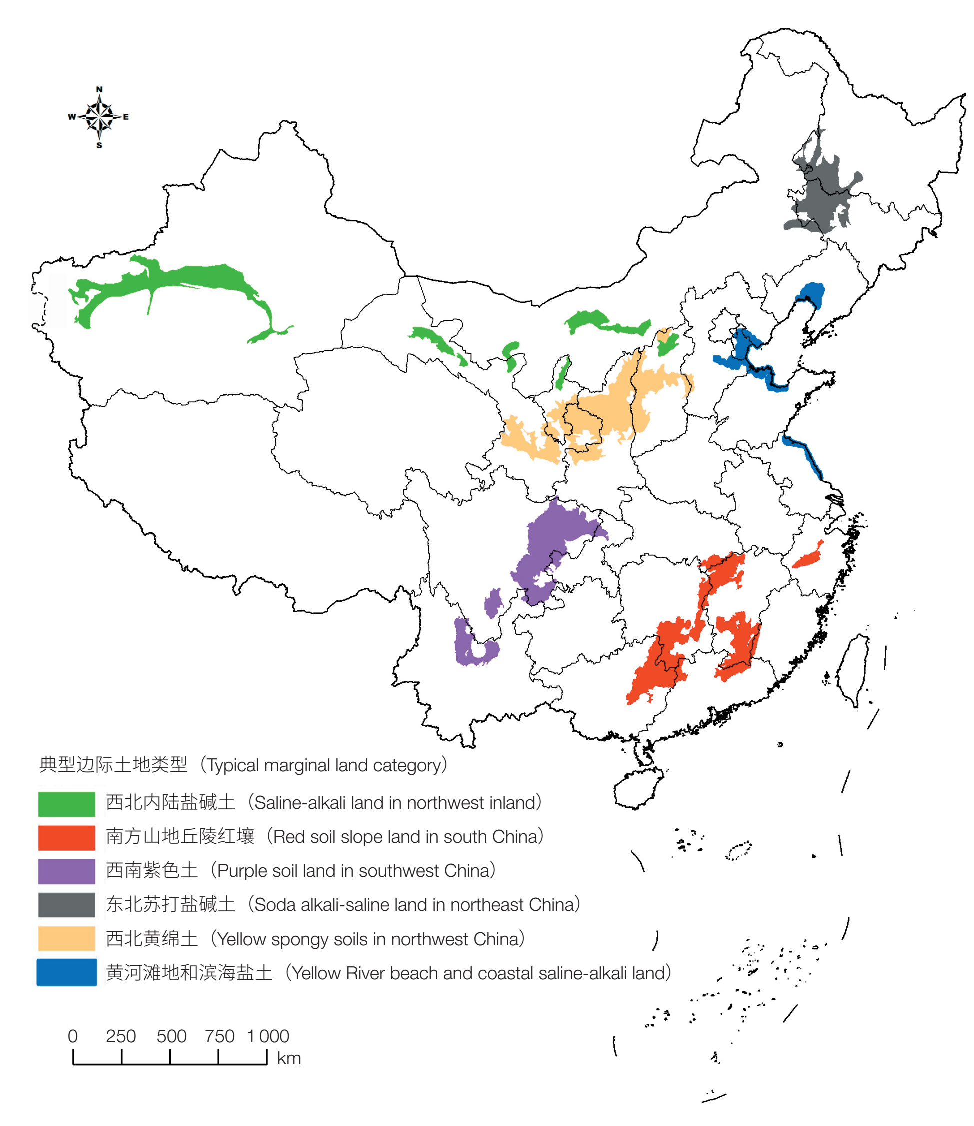


图1 我国典型边际土地分布区示意图

Figure 1 Distribution of typical marginal land in China

① 中国市制土地面积单位，1亩大约666.667平方米，15亩等于1公顷。

② 农业农村部《耕地地力调查与质量评价技术规程》（NY 1634-2008-T）中的八等地到十等地

表1　我国边际土地省份分布面积及障碍因子

Table 1　Distribution area of typical marginal land in different provinces and their obstacle factors

省份	面积（万亩）	主要障碍因素
黑龙江	1 052.3	盐碱、低温
吉林	2 429.4	盐碱、沙性
辽宁	58.8	盐碱
河北	223.3	沙性、盐碱
山东、河北、天津	1 794.3	盐碱（滨海）
内蒙古	5 458.9	盐碱、沙性、干旱、低温
宁夏	641.1	盐碱
山西	894.6	盐碱、沙性、干旱、坡耕
陕西	1 378.4	盐碱、沙性、干旱、坡耕
甘肃	1 459.3	沙性、干旱、坡耕、盐碱
青海	12.3	盐碱、低温
新疆	3 075.2	盐碱、沙性、干旱
江西	764.6	酸性、黏性、耕层薄、坡耕
湖南	958.2	酸性、黏性、坡耕
贵州	3796	酸性、黏性、坡耕、季节性干旱
云南	6 938.6	季节性干旱、坡耕
广东	523.4	酸性、黏性、坡耕
广西	2 299.3	酸性、黏性、坡耕
海南	4.1	酸性、黏性、坡耕

1 提升边际土地产能和生态效益的重要意义

1.1 边际土地是实施“藏粮于地、藏粮于技”战略的重要耕地资源补充

我国存量耕地多处于高强度利用状态，现有6.3亿亩高产田进一步提升产能的空间不断收窄，难度不断加大。边际土地可作为我国平抑耕地和粮食缺口的战略应急资源。边际土地中的3.2亿亩低产耕地，目前标准粮产量低于200千克/亩，经改造培育提升后产量达到300千克/亩，可增加粮食产能0.32亿吨；边际土地中易开发的3.4亿亩后备耕地资源加以合理使用，可提供粮食生产潜能0.68亿吨（按低等地产能计算）。两者合计约1.0亿吨，能够弥补我国粮食缺口，在国家粮食充裕时可藏粮于地，而在国家粮食短缺时恢复产能。

我国边际土地主要特点是土壤障碍强烈（如土层浅薄、盐分含量高、酸碱性强、风蚀水蚀严重、极度干旱等），治理难度大，开发利用的生态环境风险高，但潜在的产能提升空间大。建立突破边际土地极端限制因素、扩增边际土地产能效益的理论与技术，一方面能够为低产耕地改造、产能提升提供理论和技术支持，发挥“藏粮于技”的效果，提高我国粮食、油料等农产品的自给率；另一方面能够为后备边际土地资源应急启用建立明确的开发目标和成熟的技术模式，发挥“藏粮于地”的战略支撑作用。

1.2 边际土地的产能效益扩增与生态保护是发展区域特色农业、巩固精准扶贫成果、支撑乡村振兴和农村生态文明建设的关键环节

一方面，边际土地主要分布在贫困落后地区，这里农民人均收入低、增收难度大，是国家精准扶贫的重点区域。边际土地适宜生产特色农产品，涵盖粮油棉麻、瓜果蔬菜、茶叶烟叶、花卉苗木、中药材、林产品等；同时，也适宜发展草牧业等种养新模式。例如，在北方地区种植甜高粱、羊草和苜蓿等，在南方草山草坡种植优质牧草等，将边际土地对农作物生产的劣势变为发展牧草种植的优势，建立起与土地资源环境承载力相匹配的生态农业新格局。通过改良边际土地，提高单位产能和经济效益，进而加快推进区域互联网+农业特色产业链的发展，将带动农民留乡创业和持续增收。另一方面，一些边际土地分布于生态脆弱的山地丘陵和干旱区，易受水土流失、干旱、风灾等自然灾害影响，土地资源利用效率低，这是制约我国农业绿色发展和农村生态环境建设的薄弱环节。通过发展边际土地的集约开发理论，集成边际土地的资源节约、环境友好和生态保育技术模式，遵循乡村发展顺应自然规律，推进发展现代农业、传承传统文

化和保护绿水青山有机融合，带动生态与休闲农业发展，使农村成为农民幸福生活的美好家园，助力乡村振兴。

2 边际土地改良和生态利用研究现状及其发展方向

2.1 开展边际土地关键土壤障碍时空演变机制与快速消减原理研究，集成边际土地养分高效利用的生物物理调控技术体系

2.1.1 在土壤质量演变机制和调控方面积累了深厚的理论基础

中国科学院长期开展农业可持续发展和耕地保育理论和技术研究，先后承担实施了“973”项目“土壤质量演变规律与可持续利用”“我国农田生态系统重要过程与调控对策”和“粮食主产区农田地力提升机理与定向培育对策”等，以及国家基础性工作专项“我国土系调查与《中国土系志》编制”，开展了“土壤-微生物系统功能及其调控”专项研究。针对南方低山丘陵红壤区、黄淮海平原沙性潮土区、东北平原黑土区、华东滨海盐碱土区，在土壤发生和系统分类、土壤质量形成机制、土壤肥力和生物功能、肥料高效利用和植物营养原理方面开展了系统性研究，建立了我国土系数据库[4]，揭示了不同管理措施下黑土、潮土、红壤和水稻土质量的演变规律[5]；通过对我国主要农田生态系统养分和水分循环过程的长期定位和联网研究，建立了不同气候区农田有机养分再循环增产增效调控技术[6]；研究了中低产田障碍因子消减与地力修复机理、促进高强度利用农田地力提升的土壤培育和生物调控机制，建立了高强度利用下土壤团聚体-有机质-微生物协同提升地力原理和技术[7]；“黄淮地区农田地力提升与大面积均衡增产技术及其应用”和“我国典型红壤区农田酸化特征及防治关键技术构建与应用”，分别获 2014 年和 2018 年度国家科技进步奖二等奖。

2.1.2 在农田土壤微生物分布、促进养分循环机制和生物培肥技术方面取得一批新成果

阐明了我国主要农田、森林、草地生态系统土壤微生物的组成与格局，解析了土壤碳、氮、磷循环的微生物调控机理，揭示了农田土壤地上-地下生态系统协同作用和调控机制，形成了土壤微生物功能研究的技术体系[8]。识别了典型旱地土壤和水稻土的核心功能微生物组成，证实了温度促进微生物演替的“代谢理论”机制[9]。在区域尺度上发现不同土壤生物（细菌、真菌、原生动物和线虫）的体型大小与丰富度、扩散速率和生态位宽度负相关，较大体型的生物群落构建趋向确定性过程[10]。提出瘠薄土壤大团聚体生物培肥理论，发现红壤食细菌线虫对选择性捕食微生物提升生物网络的固碳、促氮、调磷功能[11]；揭示了低产潮土长期施用有机肥促进具有丰富代谢多样性的 *Bacillus asahii* 成为“领军者”，促进潮土有机质累积和磷素循环[12]；发现大豆根构型和外源根瘤菌协同调控了根际微生物网络结构，接种根瘤菌提高大多根际有益微生物丰度[13]。

2.1.3 研究方向：边际土地关键土壤障碍演变机制和快速消减原理

目前，需要在不同时空尺度上全面揭示边际土地的关键土壤障碍演变机制和快速消减原理，揭示逆境条件下土壤生物群落结构形成的环境筛选过程、物种竞争生态位过程和随机过程；深入研究不同活性的有机物（包括稳定性腐殖质类物质）在土壤生物活跃区（根际、团聚体）重组、优化和驯化土壤功能生物的机制，研发土壤生物菌剂和配套定殖措施，集成边际土地养分高效利用的生物调控措施。

2.2 从植物基因型及其与微生物间互作方面全面挖掘植物抗逆功能，建立适合边际土地逆境的植物品种与微生物组匹配组装技术

2.2.1 选育了一批耐逆适生的作物品种

中国科学院实施了“分子模块设计育种创新体

系”战略性先导科技专项，在分子模块设计育种方面，开展了水稻、大豆、小麦、玉米等高产、稳产、优质、高效性状的分子模块解析，在水稻中解析了粒宽分子模块 *GW7* 与 *GW8*，粒长粒宽分子模块 *GLW7/OsSPL13*、耐冷分子模块 *COLD1*、抗病分子模块 *Pigm*、氮高效利用分子模块 *NITR1.1*。在水稻高产优质协同改良、感受与抵御低温、广谱持久抗稻瘟病与产量平衡、氮高效利用、高产性状杂种优势机制等方面取得了重要成果[14]，“水稻高产优质性状形成的分子机理及品种设计”获2017年度国家自然科学奖一等奖。

2.2.2 深入开展了植物逆境生理和功能基因组学研究

解析了水稻、小麦、玉米、高粱、芒草等对盐碱、干旱、酸性、贫瘠等逆境的响应和适应机制。发现水稻 osa-miR1848 通过调控靶基因 *OsCYP51G3* 的表达影响植物甾醇和油菜素内酯的生物合成，参与调解水稻生长发育及盐胁迫响应[15]。揭示了中国特有芒草种南荻通过改变寒冷和干旱胁迫响应基因的表达，提高光合和水分利用效率[17]；通过调节胁迫和光合相关基因的表达，响应盐胁迫[17]。发现水稻耐铝和不耐铝品种分别偏好铵态氮和硝态氮，而控制水稻耐铝和氮素利用的一些遗传位点位于染色体相同区域，为协同调控提供了可能途径[18]。

2.2.3 探讨了植物微生物群落组装技术

深入研究了微生物协助作物抵抗盐碱、干旱、病害胁迫的机制，探讨了植物微生物群落组装技术。发现适应高盐环境的碱蓬根系细菌基因组中富含大量抗盐相关的基因，并能帮助其他植物耐盐[19]。揭示了脂肪酸是植物为菌根真菌提供的主要营养形式，发现 RAM2 和 STR-STR2 蛋白参与脂肪酸转运过程，通过降低植物脂肪酸合成可以抑制白粉病病原真菌的致病性[20]。解析了植物 PRR 免疫受体识别病原微生物的机理，发现重要模式识别受体 CERK1 通过胞外 LysM 结构域二聚化完成对真菌细胞壁组分长链几丁质多糖的感应，使其胞内激酶结构域磷酸化并激活下游防卫反应信号通路[21]。利用改进的高通量微生物培养技术从拟南芥中分离出近 8 000 个细菌，揭示了拟南芥三萜类化合物对根系微生物组的调控规律[22]。发现籼稻根系比粳稻根系富集更多参与氮循环的微生物类群，揭示了水稻通过 NRT1.1B 调控根系具有氮转化能力的微生物，影响籼粳稻田间氮肥利用效率[23]。

2.2.4 研究方向：边际土壤逆适生品种与微生物组匹配技术

目前，亟待利用 GWAS、RNA-Seq 和代谢组（含植物激素）分析等研究方法，全面开展对高耐盐水稻资源（如耐盐 0.5%—0.6% 的“海稻 86”），以及偃麦草与小麦远缘杂交形成的系列小偃麦种质的耐盐基因鉴定和应用；深入解析水稻耐酸抗铝与养分高效利用之间协同调控机制，揭示玉米和小麦干旱信号传递过程与生长发育之间的耦联机制，以及提高水分利用效率的机理。全面开展水稻、小麦、玉米根系促进作物抗逆的关键微生物识别，深入研究不同逆境下植物基因型与微生物间互作对根系微生物组结构的调控机制，建立适合边际土壤逆境的植物微生物组的组装技术。通过增强植物的适生抗逆能力，挖掘边际土地生产潜力。

2.3 分区研究边际盐碱地多水源灌溉下 GSPAC 系统水-盐-养分协同运移机制，研发持续控盐和绿色高效边际土地开发利用模式

2.3.1 集成盐碱地改良和抗逆作物品种技术，建立和示范了渤海粮仓增产增效技术模式

环渤海低平原区有 4 000 多万亩的中低产田和 1 000 多万亩的盐碱荒地受淡水资源短缺和土壤瘠薄盐碱制约。为实现 2020 年增产 500 万吨粮食潜力，科学技术部、中国科学院联合河北省、山东省、辽宁省、天津市于 2013 年实施了“渤海粮仓科技示范工程”，以扩面积、增单产、水保障作为工程实施核心，以增粮拓棉作为实施重点，发展现代高效粮食产

业，建成“渤海粮仓”[24]。

示范工程构建了适水灌溉制度，配套了农田多水源高效利用技术[25]。利用该项技术成果，河北环渤海低平原可实现地下水压采目标下的粮食生产能力提升 327 万吨。示范工程选育了一批耐盐高产的小麦和玉米品种，如小偃麦品种“小偃 81”和“小偃 60”分别适宜在含盐量 0.2% 和 0.3% 以下的中轻度盐碱地种植，并且“小偃 60”比对照品种“冀麦 32”平均增产 7.9%—11.4%。示范工程审定了“海柽 1 号”“盐杞”和“海杞”等耐盐植物品种，研制了系列盐碱地肥料与改良剂，发明了咸水冬季结冰灌溉改良盐碱地的方法[26]，构建了盐碱地微域调控降盐耕作栽培技术体系，形成了盐碱地水稻种植技术体系，全面支撑了滨海盐碱地改良和地力提升；其中，“滨海平原盐碱地适生种植技术集成研究与示范”获 2015 年度河北省科技进步奖一等奖，“苏打盐碱地大规模以稻治碱改土增粮关键技术创新及应用”获 2015 年度国家科技进步奖二等奖。

在此基础上，开展了农牧结合循环农业模式研发，初步构建了互联网+渤海粮仓，为环渤海发展现代农业服务业奠定了基础。“渤海粮仓科技示范工程”已在河北、山东、辽宁、天津的 70 余县市建立示范区 90 多个，示范推广 8 016.7 万亩，累计推动区域增粮 1 047 万吨，增效 186.5 亿元，节水 43.5 亿立方米；形成了院-部-省联动的协同推进机制和政府引导、科技支撑、企业和专业合作社主体、农民参与的示范推广机制，带动了种业、加工业、畜牧养殖业和现代农业服务业的发展。

2.3.2 研究方向：盐碱地绿色高效开发利用模式

盐碱地是我国主要的边际土地类型，分布跨越东部沿海湿润区到西北干旱区。不同区域盐碱地水盐运动复杂多样，需要分区探明盐碱地在多水源灌溉利用过程中地下水-土壤-植物-大气连续体（GSPAC）系统水盐运移与气候条件和作物生长发育间的关系，研究植物适应盐渍环境的生理生态机制，深入研究不同类型盐碱地开发利用过程土壤水盐和养分的协同迁移和平衡，研发盐碱地低成本、规模化的咸水灌溉技术，建立持续控盐和绿色高效盐碱地开发利用模式。

3 关于未来我国边际土地产能和生态效益提升的建议

3.1 基于生态优先与绿色发展原则，制定我国边际土地产能扩增和生态效益提升行动方案

边际土地产能扩增和生态效益提升行动属于支撑国家“藏粮于地”发展战略的公益性计划。由于我国边际土地分布区域广、改造面临的问题多、投资需求大、管理复杂，该行动涉及农业农村、自然资源、生态环境、水利、科学技术等多个部门，亟待多部门的协同组织管理。建议由自然资源部、农业农村部、科学技术部和国家乡村振兴局等共同牵头，根据国家发展总体战略和区域发展重点需求，制定边际土地产能扩增和生态效益提升行动方案，充分发挥我国“边际土地”资源生态利用潜力。

针对分布于生态脆弱的山地丘陵和干旱区的边际土地，其产能扩增和生态效益提升行动需要坚持生态优先与绿色发展原则，兼顾经济合理性与综合效益最大化，以问题为导向进行统筹规划与综合治理[27]。基于区域山水林田湖草生态系统的整体性、系统性和动态性演变规律，综合考虑相对完整的自然地理单元和行政区划，合理确定边际土地治理工程实施范围和规模。综合运用科学、法律、政策、经济和公众参与等手段，统筹国家乡村振兴战略规划行动、高标准农田建设与山水林田湖草生态保护项目的资金，以财政投入引导社会资金投资，以股份合作制、专项补贴、资金配套和贷款贴息等多种形式投资治理工程，集成工程技术与生物技术进行系统性治理，促进边际土地的可持续利用。

3.2 设立“边际土地”专项，攻关边际土地产能扩增和生态效益提升的理论和技术模式

我国在“十三五”期间启动了与边际土地相关的重点研发项目，包括七大农作物育种、粮食丰产增效科技创新、化学肥料和农药减施增效综合技术研发、典型脆弱生态修复与保护研究、水资源高效开发利用、智能农机装备等。这些任务中关于边际土地的研究相对分散、针对性和系统性不足，建议设立“边际土地”专项任务，系统性突破我国边际土地产能扩增和生态效益提升的理论和技术模式，促进边际土地相关学科的融合发展。边际土地综合治理研究涉及耕地质量建设、生态环境修复、作物分子育种等多个学科，理论和技术“瓶颈”的突破难度大，亟待联合中国科学院、中国农业科学院，以及相关高等院校和各部门的科研系统，组建多学科队伍协同攻关。

“边际土地”专项任务的研究重点是以培育和挖掘我国大面积边际土地的生产潜力和生态效益为出发点，制定边际土地治理区划，研发边际土地水肥协同利用与障碍调控技术，突破植物根系微生物组装配技术，构建连片分布边际土地的“藏粮于地、藏粮于技”技术模式。

（1）边际土地治理区划。以我国不同类型、成片分布的边际土地为重点对象，基于天空地一体化立体调查、联网定位试验、分子生物学和现代分析方法，明确我国不同类型边际土地发生、分布规律及特征、障碍因子致障阈值及障碍程度，建立边际土地清单，评价开发潜力、生态风险和生态经济效益，制定边际土地保护和治理区划。

（2）边际土地水肥协同利用与障碍调控技术。针对边际土地不同障碍类型，筛选和选育抗逆适生作物品系（种），揭示其形态、生理、生化、分子机理与机制；针对生态脆弱区的干旱、盐碱、侵蚀胁迫，阐明边际土地 GSPAC 水分、盐分、养分迁移转化和作物利用原理，研发边际土地水、肥协同利用与障碍调控技术，建立水、热、风、生态资源的利用、保护与产能增效的协同发展机制。

（3）植物根系微生物组装配技术。在选育耐逆品种和消除土壤障碍的同时，发展沃土生物群落构建理论和生物多功能调控技术，揭示微生物-植物-土壤互作关系，筛选适应植被演替、促进植物抗逆境胁迫的功能菌株，突破植物根系微生物组装配的关键技术难题。

（4）连片分布边际土地利用模式。聚焦黄河滩地和滨海盐土、东北苏打盐碱土、西北内陆盐碱土、南方低山丘陵红壤、西南紫色土、西北黄绵土，集成耐逆品种、水热资源高效利用技术、土壤障碍消减技术，以及植物-微生物-土壤互作培肥技术，构建边际土地分类利用技术模式，为我国开展大面积边际土地改造、实施“藏粮于地”和乡村振兴战略提供可资借鉴的示范样板。例如，针对黄河三角洲滨海盐碱地，基于 GSPAC 系统水盐运移机制，提出雨养条件下滨海盐碱地亚淡化原理，建立滨海盐碱地“上覆-中阻-下排”长效控盐技术体系（图 2）。集成微域地形改造、咸水灌溉和种养技术，建立滨海盐碱地生态农场模式（图 3），在坡顶建立咸水灌溉经济植物模式，引种枸杞、金银花、蔬菜海马齿、海滨木槿、罗布麻等；在坡面建立喷灌-生物降盐牧草种植模式，开沟喷灌种植羊草、碱茅、田箐等耐盐植物，配合接种根瘤菌、高效纤维素降解菌等沃土微生物，施用聚谷氨酸等促进田菁生长降盐；在水域建立生态牧场种养集成模式，引种观赏性和净化功能的水生植物（如萍、菹草、睡莲、藨草、水葱、香蒲等），养殖适宜微咸水环境的鱼类（如鳜鱼等）。

4 结语

我国的边际土地总面积约 11.7 亿亩，包括尚未开发的耕地后备资源区（8.5 亿亩）和现有低等耕地分布区（3.2 亿亩）。边际土地是保障我国粮食安全的战略

后备耕地资源，但由于土壤障碍限制、水热资源约束或地形条件局限，导致生态脆弱、农业产能和经济效益低下。突破边际土地水土资源约束技术和培育适生抗逆品种仍然存在“瓶颈”，需要聚焦黄河滩地和滨海盐土、东北苏打盐碱土、西北内陆盐碱土、南方低山丘陵红壤、西南紫色土、西北黄绵土，围绕作物-微生物-土壤互作机制与功能提升技术，协同研究作物抗逆机理与抗逆种质资源、水热资源高效利用机理及调控模式、土壤障碍发生与地力培育机理及技术，系统性突破我国边际土地产能扩增和生态效益提升的理论和技术模式。

总体上，实施边际土地产能和生态效益协同提升行动，对于贯彻落实中央一号文件，解决耕地总量不足和质量偏差问题，推进乡村振兴，以及促进新农村生态文明建设具有重要战略意义。发展边际土地产能-生态效益协同提升理论和分类分区治理技术模式，可以从理论、技术、示范3个维度有力支撑“藏粮于地、藏粮于技”战略实施，落实习近平总书记提出的“绿水青山就是金山银山”理念，推动形成绿色发展生产方式和生活方式，为夯实国家粮食安全的坚实基础提供重要保障。

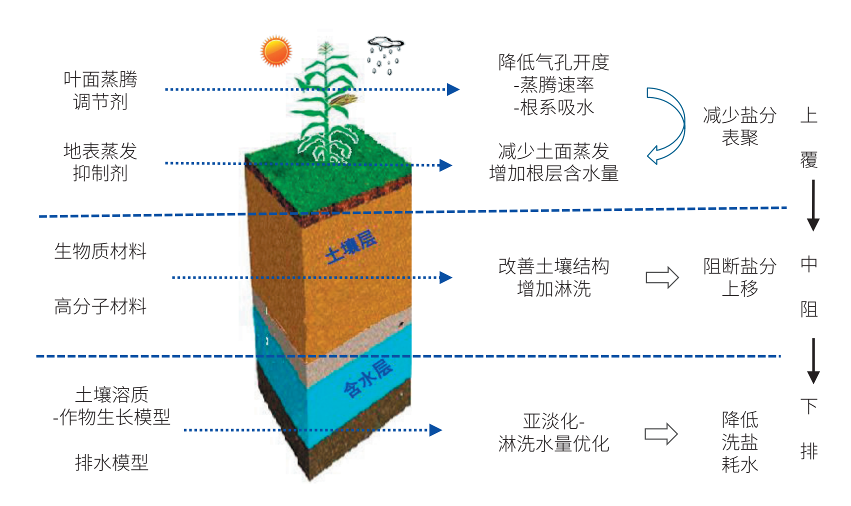


图2　滨海盐碱地“上覆-中阻-下排”长效控盐技术体系

Figure 2　“Cover in top-block in middle-drainage in bottom”, long-term salt control technology system for coastal saline-alkaline land

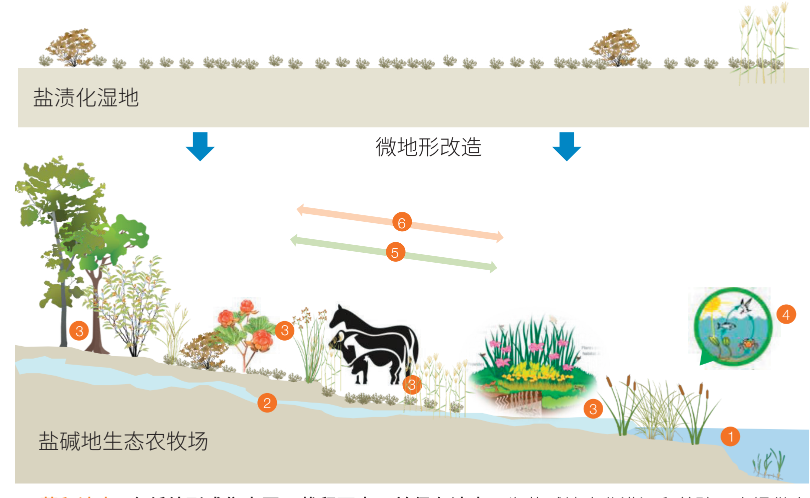


图3　滨海盐碱地集成微地形改造、咸水灌溉和种养技术的生态农场模式

Figure 3　Ecological farm model in coastal saline-alkaline land integrating terrain microtransformation, saline water irrigation, cultivation, and breeding technology

参考文献

1 中华人民共和国国土资源部. 2016中国国土资源公报. (2017-04-28)[2019-04-29]. http://www.mnr.gov.cn/sj/tjgb/201807/P020180704391918680508.pdf.

2 中国科学院农业领域战略研究组. 中国至2050年农业科技发展路线图. 北京: 科学出版社, 2009.

3 中华人民共和国农业农村部. 关于全国耕地质量等级情况的公报（农业部公报〔2014〕1号）. (2014-12-17)[2019-

04-29]. http://www.moa.gov.cn/govpublic/ZZYGLS/201412/t20141217_4297895.htm.

4 赵玉国, 宋付朋. 中国土系志·山东卷. 北京: 科学出版社, 2020.

5 曹志洪, 周健民. 中国土壤质量. 北京: 科学出版社, 2008.

6 杨林章, 孙波. 中国农田生态系统养分循环与平衡及其管理. 北京: 科学出版社, 2008.

7 孙波. 红壤退化阻控与生态修复. 北京: 科学出版社, 2011.

8 沈仁芳, 孙波, 施卫明, 等. 地上-地下生物协同调控与养分高效利用. 中国科学院院刊, 2017, 32(6): 566-574.

9 Liang Y T, Jiang Y J, Wang F, et al. Long-term soil transplant simulating climate change with latitude significantly alters microbial temporal turnover. The ISME Journal, 2015, 9(12): 2561-2572.

10 Luan L, Jiang Y J, Cheng M H, et al. Organism body size structures the soil microbial and nematode community assembly at a continental and global scale. Nature Communications, 2020, 11: 6406.

11 Jiang Y J, Liu M Q, Zhang J B, et al. Nematode grazing promotes bacterial community dynamics in soil at the aggregate level. The ISME Journal, 2017, 11(12): 2705-2717.

12 Dolfing J, Feng Y Z. The importance of soil archives for microbial ecology. Nature Reviews Microbiology, 2015, 13(3): 1.

13 Zhong Y J, Yang Y Q, Liu P, et al. Genotype and *Rhizobium* inoculation modulate the assembly of soybean rhizobacterial communities. Plant, Cell & Environment, 2019, 42(6): 2028-2044.

14 薛勇彪, 韩斌, 种康, 等. 水稻分子模块设计研究成果与展望. 中国科学院院刊, 2018, 33(9): 900-908.

15 Xia K F, Ou X J, Tang H D, et al. Rice microRNA *Osa-miR1848* targets the obtusifoliol 14α-demethylase gene *OsCYP51G3* and mediates the biosynthesis of phytosterols and brassinosteroids during development and in response to stress. New Phytologist, 2015, 208(3): 790-802.

16 Fan Y Y, Wang Q, Kang L F, et al. Transcriptome-wide characterization of candidate genes for improving the water use efficiency of energy crops grown on semiarid land. Journal of Experimental Botany, 2015, 66(20): 6415-6429.

17 Song Z H, Xu Q, Lin C, et al. Transcriptomic characterization of candidate genes responsive to salt tolerance of *Miscanthus* energy crops. GCB Bioenergy, 2017, 9(7): 1222-1237.

18 ·Zhao X Q, Guo S W, Shinmachi F, et al. Aluminium tolerance in rice is antagonistic with nitrate preference and synergistic with ammonium preference. Annals of Botany, 2013, 111: 69-77.

19 Yuan Z L, Druzhinina I S, Labbé J, et al. Specialized microbiome of a halophyte and its role in helping non-host plants to withstand salinity. Scientific Reports, 2016, 6: 32467.

20 Jiang Y N, Wang W X, Xie Q J, et al. Plants transfer lipids to sustain colonization by mutualistic mycorrhizal and parasitic fungi. Science, 2017, 356: 1172-1175.

21 Liu T T, Liu Z X, Song C J, et al. Chitin-induced dimerization activates a plant immune receptor. Science, 2012, 336: 1160-1164.

22 Huang A C, Jiang T, Liu Y-X, et al. A specialized metabolic network selectively modulates *Arabidopsis* root microbiota. Science, 2019, 364: eaau6389.

23 Zhang J Y, Liu Y X, Zhang N, et al. NRT1.1B is associated with root microbiota composition and nitrogen use in field-grown rice. Nature Biotechnology, 2019, 37(6): 676-684.

24 李振声, 欧阳竹, 刘小京, 等. 建设“渤海粮仓”的科学依据——需求、潜力和途径. 中国科学院院刊, 2011, 26(4): 371-374.

25 牛君仿, 冯俊霞, 路杨, 等. 咸水安全利用农田调控技术措施研究进展. 中国生态农业学报, 2016, 24(8): 1005-1015.

26 Guo K, Liu X J. Infiltration of meltwater from frozen saline water located on the soil can result in reclamation of a coastal

saline soil. Irrigation Science, 2015, 33(6): 441-452.

27 自然资源部, 财政部, 生态环境部. 山水林田湖草生态保护修复工程指南（试行）. (2020-08-26)[2021-01-25]. http://gi.mnr.gov.cn/202009/t20200918_2558754.html.

Approaches and Research Progresses of Marginal Land Productivity Expansion and Ecological Benefit Improvement in China

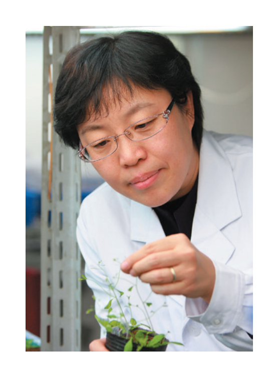
CAO Xiaofeng[1†*] SUN Bo[2†] CHEN Huabang[1] ZHOU Jianmin[1] SONG Xianwei[1] LIU Xiaojing[1]
DENG Xiangdong[1] LI Xiujun[3] ZHAO Yuguo[2] ZHANG Jiabao[2*] LI Jiayang[1*]

（1 Institute of Genetics and Developmental Biology, Innovation Academy of Seed Design, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;
2 Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China;
3 Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130102, China）

Abstract Marginal land refers to the land with low agricultural productivity and economic benefit and fragile ecology due to the prominent limitation of soil barrier, strong restriction of water and heat resources as well as harsh topographic conditions. In China, the existing marginal land is about 1.17 billion mu (15 mu is equal to 1 ha), which is the most important resource of strategic emergency to deal with the cultivated land gap of 700 million mu. Marginal land storage is a major strategy for national food security. It has become a new international research trend to increase the productivity and ecological functions of marginal land by modulating the interaction between plant and soil microbial. This includes breeding high stress-tolerant plants, screening and application of plant growth promotion rhizobacteria (PGPR) to promote plant growth on marginal land, and strengthening soil microbial functions to improve soil quality and health. In view of the marginal land productivity expansion and ecological benefit improvement, it is necessary to formulate the overall action plans based on the principles of ecological priority and green development. We should carry out the marginal land R & D project with the idea of “plant first, soil-improvement as the base, water security, microbial control, and the integration of plant-soil-microbial ecological system”. (1) We should build a national database of marginal land and formulate the protection and management zoning plan. (2) We should develop four aspects of basic theory research namely, stress-tolerant plants breeding and its adaptive mechanism, efficient utilization of water and fertilize, soil obstacle factor reduction and biological networks induction/acclimatization, and the interaction between plant and microbial. (3) Focusing on coastal saline-alkali land in north and east China, soda alkali-saline land in northeast China, saline-alkali land in northwest inland, yellow spongy soils slope on the loess plateau, red soil and purple soil slope land in south hilly region, we should build different types of ecological farmland by integrating various technologies and theories. This will promote the protection and sustainable utilization of marginal land resources, and support the timely launch of the efficient use of contiguous marginal land to achieve the goal of increasing productivity by adding 700 million mu of medium-high grade arable land. This will be also helpful to ensure the implementation of the strategy of “storing grain in land and technology” and rural vitalization, and the construction of ecological civilization in China’s ecologically fragile areas.

Keywords marginal land, productivity improvement, conservation, sustainable exploitation, resource database, soil obstacle, resistant variety, functional microorganism, ecological farmland

† Contributed equally to this work
*Corresponding author



曹晓风 中国科学院院士、发展中国家科学院院士和美国科学院外籍院士。中国科学院遗传与发育生物学研究所研究员，中国科学院-英国约翰英纳斯中心植物和微生物科学联合研究中心共同主任，国际植物表观遗传组学专家委员会委员。长期致力于植物表观遗传调控机理研究，鉴定出多个表观遗传调控关键因子，揭示了组蛋白甲基化动态调控、精氨酸甲基化和小分子RNA在控制基因组稳定性和植物发育中的重要作用。在国际主流期刊上发表了100多篇论文。《中国科学：生命科学》副主编，以及*The Plant Cell*、*National Science Review*等杂志编委，中国女科技工作者协会副会长。曾获“中国青年女科学家”“全国优秀科技工作者”，以及中国植物生理与植物分子生物学学会CSPB杰出成就奖和国家自然科学奖二等奖。E-mail: xfcao@genetics.ac.cn

CAO Xiaofeng Distinguished Professor of the Institute of Genetics and Developmental Biology (IGDB), Chinese Academy of Sciences (CAS). She was elected as member of CAS in 2015, member of World Academy of Sciences for the advancement of science in developing countries (TWAS) in 2016, and International member of the American Academy of Sciences in 2020. Currently Dr. Cao is the Co-director of the CAS-JIC Centre of Excellence for Plant and Microbial Science, jointly established by CAS and the John Innes Centre (UK), and International Steering Committee Member of Epigenomics of Plants International Consortium (EPIC). Dr. Cao is an expert in plant epigenetics. She and her colleagues identified a dozen of key epigenetic regulators and uncovered how dynamic histone methylation, arginine methylation, and small RNAs governing genome stability and plant development. She published over 100 research papers and review articles in high profile journals. She has served as Associate Editor-in-Chief of *Science China Life Sciences*, and editor of *The Plant Cell*, *National Science Review*, etc. She serves as deputy director of China Women's Association for Science and Technology. She received many awards include National Outstanding Scientist Awards (2010), L'OLEAL Young Female Scientists Awards (2010), CSPB Outstanding Achievement Award of Chinese Society of Plant Physiology and Plant Molecular Biology (2019), and second prize of China's National Natural Science Award (2019). E-mail: xfcao@genetics.ac.cn



孙 波 中国科学院鹰潭红壤生态实验站（江西鹰潭农田生态系统国家野外科学观测研究站）站长，农业农村部耕地保育重点实验室常务副主任。国家重点研发计划项目首席科学家、中国科学院特聘研究员核心骨干、中国植物营养与肥料学会副理事长、江苏省土壤学会理事长、农业农村部耕地质量建设专家指导组成员。研究方向为土壤退化机制与修复技术、土壤养分循环机制与生物学调控技术，从区域尺度到团聚体尺度揭示了气候、作物、施肥和土壤对养分转化生物网络的影响机制及其调控原理，在*Nature Communications*、*ISME Journal*、*Microbe*等国际主流期刊发表SCI论文80余篇，获2004年度（第6）和2011年度（第4）国家科技进步奖二等奖各1项。E-mail: bsun@issas.ac.cn

SUN Bo Director of Yingtan Red Soil Ecological Experiment Station of Chinese Academy of Sciences (National Agro-Ecosystem Observation and Research Station in Yingtan), and the Executive Director of Key Laboratory of Arable Conservation of Ministry of Agriculture and Rural Affairs. He is the Chief Scientist of project sponsored by National Key Research and Development Program of China and the Chief Distinguished Research Fellow of CAS. He currently serves as Vice President of the Plant Nutrition and Fertilizer Science Society of China, President of Soil Science Society of Jiangsu, and a member of the Expert Advisory Committee

for Farmland Quality Construction of Ministry of Agriculture and Rural Affairs. His research field covers soil degradation mechanism and remediation technology, soil nutrient cycling mechanism and biological regulation technology. He and his colleagues identified the influence mechanism and regulation principle from regional scale to aggregate scale of climate, crop, fertilization and soil type on nutrient transformation biological networks. He has published more than 80 research papers in world leading journals, including *Nature Communications*, *ISME Journal* and *Microbe*. As the main accomplisher, he was awarded second-class prizes of National Science and Technology Progress Award in 2004 and 2011, respectively. E-mail: bsun@issas.ac.cn



张佳宝　中国工程院院士。中国科学院南京土壤研究所研究员。中国土壤学会理事长，国际土壤学联合会土壤工程与技术委员会主席。长期从事土壤物质迁移转化和水循环过程系统模拟及其生态环境效应、土壤信息快速获取、中低产田治理与地力提升理论和技术等方面的研究及其相关平台建设工作。针对我国13亿亩中低产田土壤障碍因子多、地力水平低两大难题，创建了新一代中低产田治理的理论-核心技术-支撑设备-研发平台体系。发表学术论文445篇（其中SCI收录论文165篇），出版专著6部；获国家授权专利35件、软件著作权17项；获国家科技进步奖一等奖1项、国家科技进步奖二等奖3项；以及周光召农业科学家奖、中国土壤学会奖等多项个人荣誉。E-mail: jbzhang@issas.ac.cn

ZHANG Jiabao　Distinguished Professor in soil science of Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences (ISSCAS), member of Chinese Academy of Engineering, Chairman of Soil Science Society of China, Chairperson of Soil Engineering and Technology, International Union of Soil Science. His research field includes: the modeling of water and solute transports in soils and their effects on eco-environment; the monitoring of soil information; the amendment of problem soils and development of best management practices to maximize crop yield, water and fertilizer use efficiency and minimize environmental impacts on agricultural practices. He and his colleagues established a new version of theoretical and technological system to improve soil constraint factors and increase soil inherent productivity for 86 million hectares of middle and low yield arable land in China. He has published 6 books and 445 peer-review articles (including 165 SCI indexed papers); has been granted 35 patents and 17 softwares, and won a first prize and 3 second prizes of National Science and Technology Progress Award. E-mail: jbzhang@issas.ac.cn.



李家洋　中国科学院院士，发展中国家科学院、美国科学院、德国科学院、欧洲分子生物学组织、国际欧亚科学院、英国皇家学会等国际学术组织院士或外籍院士。中国科学院遗传与发育生物学研究所研究员。长期从事高等植物生长发育与代谢的分子遗传学研究，阐明高等植物株型形成的分子基础和影响重要农艺性状的主要代谢途径；致力于水稻与橡胶草的分子品种设计，培育高产优质、高抗稳产、高效安全新品种。主要研究成果发表在*Nature*、*Science*、*Cell*、*Nature Genetics*、*Nature Biotechnology*、*Nature Communications*、*Nature Plants*、*Cell Research*等国际权威学术刊物。曾获国家自然科学奖二等奖、中国科学院杰出科技成就奖、国家自然科学奖一等奖、求是科技成就集体奖、陈嘉庚科学奖和未来科学大奖等奖励。E-mail: jyli@genetics.ac.cn

LI Jiayang Member of Chinese Academy of Sciences (CAS), World Academy of Sciences for the advancement of science in developing countries (TWAS), and German Academy of Sciences; Foreign Associate of the American National Academy of Sciences and the Royal Society. Professor of the Institute of Genetics and Developmental Biology (IGDB), CAS. Prof. Li is mainly working on plant molecular genetics, developmental biology, and metabolism, with focuses on rice plant architecture and starch biosynthesis, rational design of superior varieties of rice, and biosynthesis of natural rubber in dandelion. He has made seminal contributions in the molecular design of new elite rice varieties through rational design and developed elite rice varieties with improved important agronomic traits including higher yield, superior quality, and better resistance to stresses. The findings and achievements have been published in world leading journals, including *Nature*, *Science*, *Cell*, *Nature Genetics*, *Nature Biotechnology*, *Nature Communications*, *Nature Plants*, *PNAS*, *Cell Research*, etc. For his pioneering works on plant architecture and molecular breeding, Li was awarded prizes including the Future Science Prize in 2018, the Tan Kah Kee Science Award in 2018, China's National Natural Science Award (First Prize) in 2017, the Qiushi Outstanding Scientific Research Team Award in 2017, the Outstanding Science and Technology Achievement Prize of the Chinese Academy of Sciences in 2013, and China's National Natural Science Award (Second Prize) in 2005.
E-mail: jyli@genetics.ac.cn

■责任编辑：岳凌生